

## Évaluer la performance écologique d'un aménagement autoroutier du point de vue de la biodiversité végétale

La réglementation et les attentes sociétales incitent aujourd'hui les aménageurs du territoire à évaluer les impacts environnementaux de leurs projets de construction, mais également à prévoir des mesures et des actions pour créer ou restaurer la biodiversité des espaces modifiés.

Des questions se posent donc aux gestionnaires sur les méthodes à utiliser et les indicateurs à employer pour évaluer la performance écologique d'un aménagement.

Quelques éléments de réponse sont présentés ici, sur la base d'une étude de cas portant sur le Mont-aux-Liens, un aménagement paysager contigu à l'autoroute A19.



Les contraintes réglementaires et la demande citoyenne croissante encouragent les entreprises et les décideurs à une plus grande transparence de leurs politiques environnementales et au développement de stratégies et politiques vis-à-vis de la biodiversité (Nature-parif, 2012). Les sociétés autoroutières sont concernées en raison des impacts environnementaux liés à la construction et à l'exploitation des routes. Diverses stratégies sont développées par ces entreprises pour valoriser leurs espaces fonciers non exploités : les bords de routes sont définis comme des zones « refuges » potentielles pour la biodiversité, notamment dans les paysages anthropisés comme les zones agricoles, et peuvent être intégrés à des stratégies de préservation de la biodiversité à l'échelle des territoires, comme la Trame verte et bleue (Ministère de l'Écologie, du Développement durable, des Transports et du Logement, 2012). Enfin, ces zones peuvent être aussi utilisées pour la création d'habitats, afin de valoriser certains services écosystémiques, comme par exemple le traitement des eaux polluées par phytoremédiation. L'évaluation *a posteriori* de ces aménagements fait aujourd'hui défaut. Elle est cependant indispensable afin de savoir si l'évolution de leurs compartiments biotique et abiotique est compatible avec l'état projeté à long terme par le constructeur. La réalisation de l'évaluation de leur performance écologique (encadré 1) pose plusieurs questions :

- quelles méthodes utiliser pour dresser un état des lieux ?
- quels indicateurs employer pour évaluer l'adéquation avec le projet initial ?

L'objectif de cet article est d'apporter des éléments de réponse à ces questions, sur la base d'une étude de cas portant sur le Mont-aux-Liens, un aménagement paysager contigu à l'autoroute A19.

L'originalité de l'étude que nous présentons réside dans le fait qu'elle dresse un double diagnostic, trois ans après la mise en place de l'aménagement : le premier sur le sol, le second sur la biodiversité végétale. La biodiversité végétale étant fortement dépendante des caractéristiques du biotope, l'évaluation de la performance écologique de l'aménagement a été réalisée selon la démarche suivante : (i) analyser les caractéristiques pédologiques et leur variation spatiale, afin de (ii) mieux comprendre la structuration spatiale à court terme de la richesse spécifique et de l'origine des cortèges floristiques d'une part, des stratégies adaptatives et des caractéristiques écologiques de la végétation d'autre part, au regard de ce que sont les objectifs de l'aménageur à long terme pour ces critères.

### Contexte

Le Mont-aux-Liens se trouve à 12 km au nord-ouest de Montargis (Loiret, France), au cœur de la plaine agricole du Gâtinais. Il s'agit d'un aménagement paysager d'une superficie de 25 ha, créé au bord de l'autoroute A19.

### 1 QU'EST-CE QUE LA PERFORMANCE ÉCOLOGIQUE D'UN AMÉNAGEMENT ?

Nous proposons de définir la performance écologique d'un aménagement comme la mesure de l'efficacité de son fonctionnement écologique par rapport à des objectifs initialement définis.

Étudier la performance écologique d'un aménagement revient à se demander si les effets écologiques attendus par rapport aux objectifs visés sont atteints. Cette étude peut être faite en cours (évaluation concomitante) ou à la fin de l'opération (*ex post*).

L'objectif principal avancé par le constructeur de cet aménagement était de valoriser une ancienne zone technique utilisée lors de la construction de l'autoroute pour le dépôt de matériaux. La réalisation de l'aménagement répondait à deux enjeux :

- l'enjeu environnemental, par la création d'une mosaïque d'habitats potentiels, contrastés (boisement de ligneux décidués, prairies, zone humide, pelouses thermophiles), et pouvant abriter une faune diversifiée (mammifères, oiseaux de proie, herpétofaune, insectes) ;
- l'enjeu esthétique, propre au paysagisme d'aménagement, afin de rompre la monotonie paysagère aux abords de l'autoroute.

Le site, mis en place en 2008, est organisé en dix zones caractérisées par des plantations de ligneux et des herbacées (tableau ❶), mises en place par semis hydrauliques (figure ❶).

Le site a subi de fortes transformations pédologiques pendant sa phase de construction et celle de l'autoroute, avec un décapage des couches superficielles du sol et des calcaires sous-jacents, un tassement par les véhicules, et des déplacements de matériau.

Le substrat observé aujourd'hui est un technosol dont l'épaisseur et l'organisation générale sont différentes de celles observées avant l'aménagement (terres cultivées).

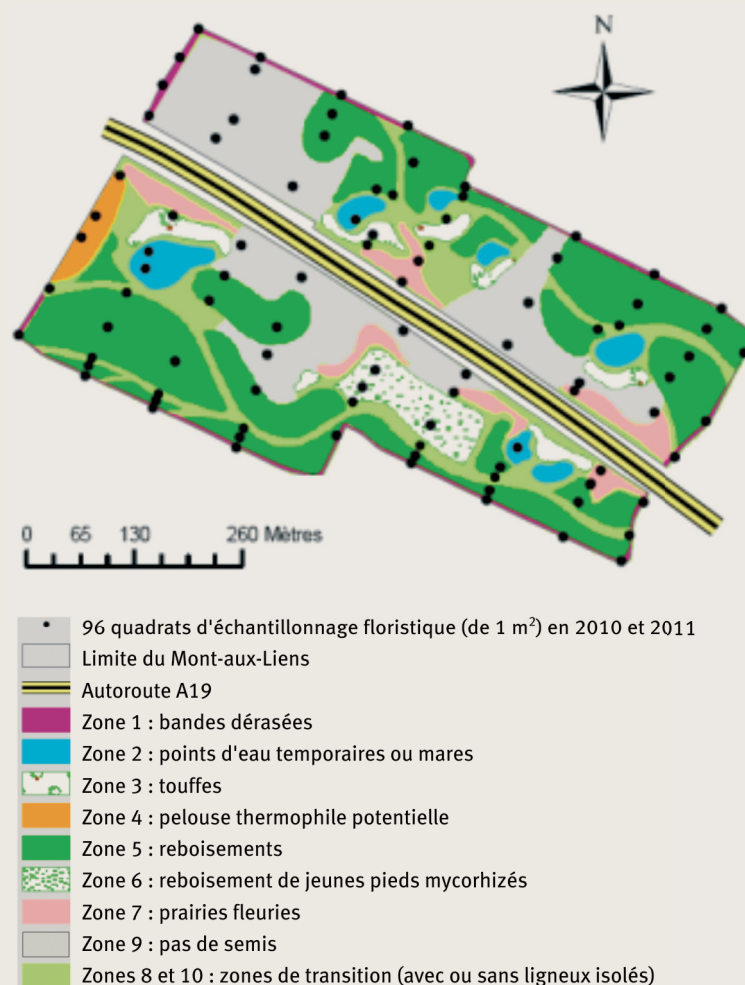
Les semis et plantations ont été réalisés immédiatement après la mise en place de ce technosol.

Un fixateur cellulosique (300 kg/ha) et un engrais organo-minéral (500 g/ha) (composition non fournie) ont été appliqués lors des semis pour accroître la capacité de rétention en eau du sol et sa fertilité pendant les premiers mois de croissance de la végétation.

Une fertilisation d'entretien organominérale (500 kg/ha) a été appliquée de nouveau six mois après les semis.

#### ❶ Organisation générale des dix zones mises en place par l'aménageur en 2008 au Mont-aux-Liens. Les points noirs localisent les relevés floristiques.

Leur nombre par zone aménagée figurent entre parenthèse ci-après : zone 1 (n = 25), zone 2 (n = 2), zone 3 (n = 2), zone 4 (n = 4), zone 5 (n = 24), zone 6 (n = 2), zone 7 (n = 4), zone 8 (n = 5), zone 9 (n = 20), zone 10 (n = 7) (source COFIROUTE).



#### ❶ Plantations et semis herbacés des zones aménagées par le constructeur du Mont-aux-Liens.

Le nombre d'espèces herbacées dans chaque semis a déterminé la richesse spécifique mise en place par le constructeur.

N° de zone (figure ❶)	Dénomination	Appellation du mélange semé	Nom scientifique	Nom vernaculaire
1	Bandes dérasées	Zones dérasées (ZD)	<i>Festuca ovina</i> , <i>Festuca rubra</i> , <i>Puccinellia distans</i>	Fétuque ovine, Fétuque rouge, Atropis distant
2	Points d'eau temporaires	Zones de bassin (Zba)	<i>Caltha palustris</i> , <i>Iris pseudoacorus</i> [...], <i>Lolium perenne</i> , <i>Festuca arundinacea</i>	Populage des marais, Iris faux acore [...], Ray Gras Anglais, Fétuque élevée
3	Touffes	Zones boisées (Zbo)	<i>Colutea arborescens</i> , <i>Cornus sanguinea</i> [...], <i>Agrostis tenuis</i> , <i>Festuca ovina</i>	Baguenaudier, Cornouiller sanguin [...], Agrostis commun, Fétuque ovine
4	Pelouses thermophiles	Zones dérasées (ZD)	<i>Festuca ovina</i> , <i>Festuca rubra</i> , <i>Agrostis tenuis</i>	Fétuque ovine, Fétuque rouge, Agrostis commun
5	Reboisements	Zones boisées (Zbo)	<i>Acer campestre</i> , <i>Alnus glutinosa</i> [...], <i>Poa trivialis</i> , <i>Lotus corniculatus</i>	Erable champêtre, Aulne glutineux [...], Pâturin commun, Lotier corniculé
6	Reboisements	Zones boisées (Zbo)	<i>Fagus sylvatica</i> * <i>Quercus pubescens</i> * [...], <i>Sanguisorba minor</i> , <i>Achillea millefolium</i>	Hêtre*, Chêne pubescent* [...], Pimprenelle, Achillée millefeuille
7	Prairies fleuries	Prairies fleuries (PFL)	<i>Anthyllis vulneraria</i> , <i>Calendula officinalis</i> , <i>Centaurea cyanus</i> , <i>Coronilla varia</i> [...]	Anthyllide vulnéraire, Souci officinal, Bleuet, Coronille bigarrée [...]
8	Zones de transition avec pieds isolés de ligneux	Zones de culture (ZC)	<i>Fraxinus excelsior</i> , <i>Quercus robur</i> [...], <i>Lolium perenne</i> , <i>Festuca rubra</i>	Frêne commun, Chêne pédonculé [...], Ray Gras Anglais, Fétuque rouge
10	Zones de transition sans pieds isolés de ligneux	-	<i>Festuca arundinacea</i> , <i>Dactylis glomerata</i>	Fétuque élevée, Dactyle aggloméré
9	Zones non semées	-	-	-

\* Plants mycorhizés.

## Indicateurs de performance retenus

Quatre grands groupes de caractéristiques pédologiques ont été analysés : l'organisation des profils de sol, la texture de l'horizon superficiel du sol H1, la fertilité et la ressource en eau à disposition du couvert végétal de ce même horizon. Ils ont été réalisés sur 96 quadrats de 1 m<sup>2</sup>, localisés au GPS (figure 1). Sur chacun d'eux, la profondeur totale du profil de sol et de l'horizon superficiel (cm), la granulométrie (fractions argileuse, limoneuse et sableuse, en %, selon la norme NF ISO 11277), la teneur en matière organique MO (%), NF ISO 10694), en azote total Ntot (%), NF ISO 13878), le rapport C/N (-), la teneur en carbonate de calcium total CaCO<sub>3</sub>tot (%), NF ISO 10693), le pH (NF ISO 10390), la capacité d'échange cationique CEC (cmol(+).kg<sup>-1</sup>, NF X 31130), et la teneur en phosphore assimilable P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (mg/100 mg, NF X 31161) ont été mesurés. La teneur en eau volumique (θ<sub>rac</sub>) et le potentiel hydrique (H<sub>rac</sub>) de la zone racinaire ont été modélisés grâce au logiciel HYDRUS-1D à partir des résultats de l'étude pédologique de mesures *in situ* de variables climatiques (précipitations, température, humidité relative de l'air, vitesse du vent).

L'analyse du couvert végétal sur ces mêmes quadrats utilise des indicateurs classiques de biodiversité, respectivement la structure, la composition et le fonctionnement à l'échelle des communautés. L'inventaire exhaustif des espèces végétales a été restreint aux herbacées en raison de la très forte mortalité des ligneux *in situ*. Il a été effectué au niveau spécifique selon la méthode d'abondance-dominance de Braun-Blanquet. L'analyse a été réalisée en 2010 et 2011, soit au cours de la deuxième et de la troisième année suivant les semis et plantations. Les zones 2 et 6 présentaient un nombre trop limité de répétitions et n'ont pas fait l'objet d'analyses statistiques.

## Caractéristiques pédologiques

Les analyses physicochimiques du sol ont montré une uniformité des caractéristiques pédologiques de l'horizon superficiel H1 supportant la végétation sur l'ensemble des zones aménagées. C'est pourquoi seule la tendance moyenne est présentée ci-après. L'horizon H1 se caractérise par une texture limono-sablo-argileuse (LSA), des propriétés chimiques contraignantes liées à un substrat fortement calcaire (CaCO<sub>3</sub> tot = 43,9 %) et alcalin (pH = 8,4), une très forte teneur en phosphore assimilable (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> = 15,0 mg/100 mg), une teneur en azote total limitante (Ntot = 0,15 %) observée principalement sous forme minérale (C/N = 10,4), une fertilité organominérale faible (MO = 2,7 % ; CEC = 13,5 cmol(+).kg<sup>-1</sup>). La profondeur de l'horizon de surface H1, comprise entre 5 et 110 cm, est le seul facteur mesuré variant spatialement. Cet horizon compose l'essentiel du profil de sol. Son matériau provient de l'horizon superficiel initialement en place avant l'opération de déblai liée à la construction de l'autoroute. Les zones remblayées au sein du Mont-aux-Liens ont été déterminées en fonction de la végétation devant se développer au sein de chaque zone aménagée. La modélisation de la variation spatio-temporelle de la teneur en eau volumique et du potentiel hydrique de la zone racinaire montre que le fonctionnement hydrolo-

gique du sol est lui aussi homogène sur l'ensemble du site, en raison de l'homogénéité des matériaux du sol. Il est marqué par des écoulements essentiellement verticaux, une teneur en eau annuelle moyenne voisine de celle du point de flétrissement des plantes et l'absence de saturation du sol en eau, quelle que soit la période de l'année et l'intensité des précipitations.

## Analyse de la biodiversité végétale

### Composition spécifique de la flore : des gains quantitatifs sans contraste spatial

À l'échelle du site, soixante-sept espèces ont été recensées à l'issue de 2011. La richesse spécifique moyenne par mètre carré observée en 2011 est significativement plus élevée d'environ 26 % que celle initialement mise en place par l'aménageur.

Un bilan du projet par zone aménagée (tableau 2) montre que ce succès (augmentation de la richesse spécifique) concerne presque l'intégralité du site (80 % des quadrats), mais sans contraste significatif entre les zones aménagées, ce qui était néanmoins souhaité par l'aménageur. Cinq zones présentent une richesse spécifique supérieure à celle mise en place (zones 1, 3, 4, 5 et 9). Deux zones présentent une richesse spécifique du niveau espéré (zones 8 et 10). Une seule zone enregistre une richesse spécifique plus faible (zone 7).

### Une colonisation exogène élevée et un échec important des semis à court terme

Les semis influencent la composition des cortèges au sein des quadrats (encadré 2) en colonisant les autres quadrats (Ex<sub>i-partiel</sub>), ou en réussissant à s'implanter dans leurs quadrats initiaux (Ind<sub>i</sub>). À l'issue de 2011, les espèces observées sont faiblement issues des semis (en moyenne, 20 % du cortège). Le succès d'implantation de ces derniers est en moyenne faible et spatialement peu contrasté

## 2 MESURES SUR L'ORIGINE DES ESPÈCES

### L'indice d'indigénat du quadrat i

Il mesure le succès de l'installation des semis. C'est la proportion d'espèces (nb/m<sup>2</sup>) semées en i et observées dans le relevé i (S<sub>i-semées-observées</sub>) par rapport à la richesse semée initiale en i (S<sub>i-semées</sub>).

$$Ind_i = \frac{S_{i-semées-observées}}{S_{i-semées}}$$

### L'indice d'exogénat partiel du quadrat i

C'est la proportion en espèces (nb/m<sup>2</sup>) non semées en i mais semées dans le reste du Mont-aux-Liens et observées en i (S<sub>i-ns-i</sub>), par rapport à la richesse spécifique en i (S<sub>i</sub>).

$$Ex_{i-partiel} = \frac{S_{i-ns-i}}{S_i}$$

### L'indice d'exogénat strict du quadrat i

C'est la proportion en espèces (nb/m<sup>2</sup>) non semées, ni dans le quadrat i, ni dans le reste du Mont-aux-Liens (S<sub>i-ns</sub>) par rapport à la richesse spécifique en i (S<sub>i</sub>).

$$Ex_{i-strict} = \frac{S_{i-ns}}{S_i}$$

(tableau 2) : minimal pour les zones 1 et 4 (semis ZD) et les zones 3, 5 (semis ZBo), il est maximal pour les zones semées avec les mélanges ZC (zones 8 et 10) et PFL (zone 7). La colonisation par les espèces exogènes strictes est forte et généralisée à l'ensemble du Mont-aux-Liens (tableau 2). Son intensité dépend de la localisation des différentes zones au sein du site (figure 1). Les zones 1 et 4 sont les plus fortement exposées à la colonisation par des espèces venant des bords de champs voisins en raison de leur proximité immédiate avec des parcelles agricoles cultivées. L'arrivée de nouvelles espèces *via* l'infrastructure apparaît réduite comme en témoigne la valeur moyenne de colonisation de la zone 7 (tableau 2). Ici, l'autoroute ne jouerait pas un rôle de corridor. Les zones 5 et 3 puis la zone 9 sont également fortement colonisées par des espèces exogènes strictes. Les zones 8 et 10 présentent des cortèges plus équilibrés entre les espèces indigènes et exogènes strictes. Dans les conditions expérimentales étudiées, l'utilisation localisée de semis serait une stratégie efficace pour augmenter à court terme la richesse spécifique de zones non semées se trouvant à proximité comme en témoigne l'intensité de colonisation partielle de la zone 9 (tableau 2).

### Diversité fonctionnelle de la flore

#### Des semis mal adaptés aux conditions écologiques

L'analyse des préférendums écologiques d'Ellenberg (tableau 2) met en évidence que les contrastes entre les zones aménagées souhaitées à long terme par le constructeur pour quatre valeurs écologiques, respecti-

vement la lumière (L), la température (T), la réactivité du sol (liée au pH) (R'), et les nutriments du sol (N), ne sont pas confirmés par les observations *in situ* à court terme. Une plus forte tolérance à l'oligotrophie des zones 8 et 10 (mélange ZC), 3 et 5 (mélange ZBo) que celle planifiée par le constructeur est observée. Les zones 1 et 4 (mélange ZD) montrent la tendance inverse. Les cortèges des zones 1 et 4 (semis ZD), 3 et 5 (semis ZBo), 8 et 10 (semis ZC) sont mésohydriques et non mésohygrophiles comme envisagé lors de la construction du site. Se développent des cortèges neutroclines et non neutrophiles dans les zones PFL (zone 7) et ZC (zones 8 et 10), des cortèges neutrophiles au lieu d'acidoclines dans les zones 1 et 4 (semées ZD). Tous les cortèges *in situ* présentent le même préférendum thermique (cortèges planitaires thermophiles), les cortèges planitaires montagnards envisagés pour les zones PFL et ZC étant absents. Cette homogénéité est également marquée par la présence d'une végétation supportant un fort ensoleillement sur tout le site d'étude (intermédiaire entre hémihéliophile et héliophile). L'héliophilie attendue dans les zones 7 (PFL), 8 et 10 (ZC) n'est pas observée.

#### Des semis insuffisamment tolérants aux perturbations *in situ*

L'évolution du système à court terme montre une diversité fonctionnelle élevée : sept stratégies de Grime sont observées à l'issue de 2011, contre seulement deux initialement observées dans les semis (figure 2). L'organisation spatiale de cette diversité est distincte de celle des zones aménagées par le constructeur (figure 2) :

### 2 Résultats du diagnostic biodiversité.

Composantes de la biodiversité végétale		Site global	Zones aménagées							
			ZD		ZBo		ZC		PFL	NS
			Zone 1	Zone 4	Zone 3	Zone 5	Zone 8	Zone 10	Zone 7	Zone 9
Variation de la richesse spécifique $\Delta$ (espèces/m <sup>2</sup> )		3,2	10,3*	5,3*	4,5*	5,4*	- 3,2	- 2,2	- 10,8*	11,5*
Origine des cortèges végétaux (fréquence)	Ind <sub>i</sub>	0,20	0,06	0,17	0,24	0,27	0,48	0,56	0,40	-
	Ex <sub>i</sub> partielle	0,33	0,37	0,27	0,32	0,19	0,09	0,09	0,46	0,59
	Ex <sub>i</sub> strict	0,47	0,57	0,56	0,44	0,54	0,43	0,35	0,14	0,41
Valeurs écologiques d'Ellenberg (moyenne/m <sup>2</sup> )	N <sub>projet</sub>	3,9	2,4		4,9		5,1		3,3	-
	N <sub>2011</sub>	4,3	4,9		4,3		3,4		2,9	-
	L <sub>projet</sub>	7,4	7,4		7,1		7,7		7,7	-
	L <sub>2011</sub>	7,2	7,3		7,2		7,1		7,1	-
	R' <sub>projet</sub>	5,9	5,4		5,7		7,0		7,3	-
	R' <sub>2011</sub>	6,2	6,6		6,0		6,1		5,9	-
	F <sub>projet</sub>	5,6	5,7		5,8		5,5		4,6	-
	F <sub>2011</sub>	4,9	4,6		5,1		4,9		4,5	-
	T <sub>projet</sub>	5,8	5,9		6,0		5,3		5,3	-
	T <sub>2011</sub>	5,4	5,5		5,1		5,5		5,9	-

$$\Delta = S_{i \text{ observées}} - S_{i \text{ semées}}$$

Valeurs écologiques d'Ellenberg : N = nutriments, L = lumière, R' = réactivité du sol, F = ressource hydrique, T = température.

\* Différence significative entre les observations à l'issue de 2011 et la richesse spécifique semée (Test Mann-Whitney,  $P < 0,001$ ).



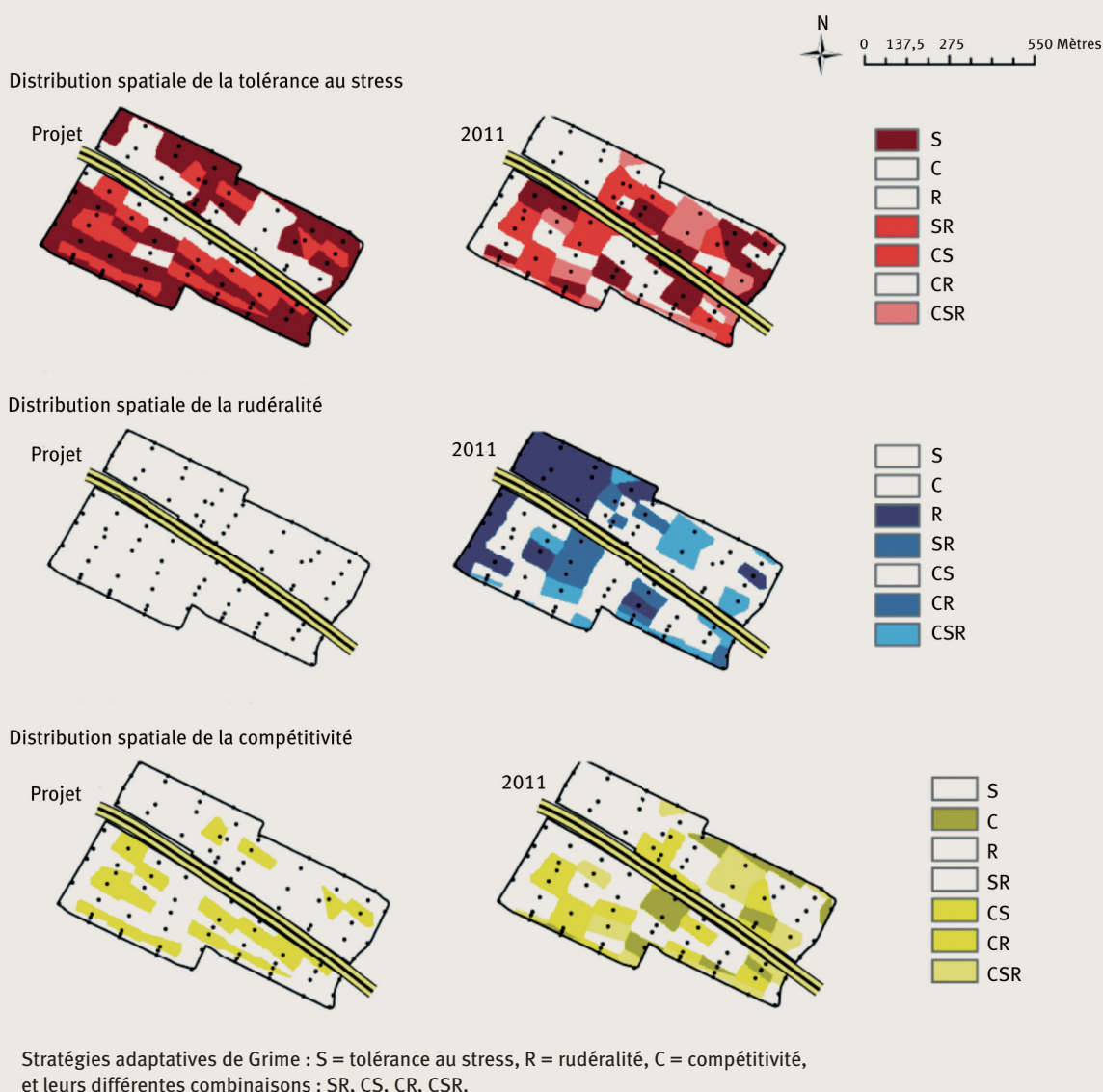
► toutes les zones aménagées enregistrent à court terme, une dominance de la rudéralité, de la compétitivité et une régression de la tolérance au stress. Cette dernière stratégie reste néanmoins présente, mais associée à la compétitivité et à la rudéralité. La diversité fonctionnelle observée est maximale pour les zones 1 et 4 (ZD), 3 et 5 (ZBo). La diversification des stratégies observées est cohérente avec l'évolution stochastique d'un système pionnier, soumis à de multiples contraintes : faibles ressources trophiques et hydriques d'une part, perturbations physiques régulières et intenses (herbivorie, passage de véhicules motorisés) d'autre part. Les perturbations physiques régulières favorisent la colonisation du site par des espèces rudérales issues de la matrice paysagère, et défavorisent, à court terme, l'installation des espèces semées, fortement tolérantes au stress mais faiblement tolérantes aux perturbations.

### Conclusion et perspectives

Évaluer la création *ex nihilo* de systèmes écologiques n'est pas chose aisée. Notre approche, appliquée à l'évaluation d'un aménagement autoroutier, montre qu'en considérant les propriétés physicochimiques du biotope d'une part, et le couvert herbacé dans ses composantes de structure, de composition et de fonctionnement d'autre part, il est possible de rendre compte de la performance écologique de tels aménagements.

Dans l'étude de cas présentée, les propriétés pédologiques du système sont homogènes sur l'ensemble du site et ne sont pas en accord avec l'objectif du constructeur de faire évoluer, à long terme, le Mont-aux-Liens en une mosaïque d'habitats écologiquement contrastés. Ce constat est confirmé par l'étude des *preferendums* écologiques des zones aménagées.

② Évolution de la distribution spatiale des stratégies adaptatives primaires (S, R, C) et secondaires (SR, CR, CS, CSR) projetées et observées en 2011. Pour chaque quadrat, la couleur est d'autant plus intense que la stratégie étudiée est majoritaire. Les quadrats en blanc ne présentent pas la stratégie étudiée.



L'évolution constatée de la végétation (augmentation de la richesse spécifique et origine du pool d'espèces) est fortement liée au contexte paysager environnant l'aménagement, ici un paysage de grandes cultures : la diversité spécifique observée trois ans après les travaux de mise en place est plus élevée qu'attendue et s'explique principalement par des apports d'espèces rudérales depuis l'extérieur du site.

Il ressort de cette analyse que la prise en compte des particularités locales (climat, pédologie, phytosociologie) des milieux réaménagés (dépendances vertes autoroutières, aménagements paysagers) devrait donc être systématiquement réalisée lors de la préparation des travaux de « végétalisation », afin de définir des objectifs en accord avec les caractéristiques stationnelles. Dans le cas du Mont-aux-Liens, l'analyse à court terme de la performance écologique a montré la nécessité de définir des mesures de réaffectations (du sol et de la flore), soit pour atteindre les objectifs initiaux, soit pour en redéfinir de nouveaux. ■

### Les auteurs

#### Flavie MAYRAND

AgroParisTech, UMR EGC équipe sol, Centre de Grignon, Bâtiment EGER, BP 01, 78850 Thiverval-Grignon  
Unité FAM, Laboratoire d'étude des ressources forêt-bois (LERFoB), 14 rue Girardet, CS 14216, 54042 Nancy Cedex  
f.mayrand@hotmail.fr

#### Damien MARAGE

AgroParisTech-ENGREF, Unité FAM  
Laboratoire d'étude des ressources forêt-bois (LERFoB)  
14 rue Girardet, CS 14216, 54042 Nancy Cedex  
damien.marage@agroparistech.fr

#### Jean-Marc GILLIOT et Joël MICHELIN

AgroParisTech, UMR EGC équipe sol, Centre de Grignon, Bâtiment EGER, BP 01, 78850 Thiverval-Grignon  
jean\_marc.gilliot@agroparistech.fr  
joel.michelin@agroparistech.fr

#### Yves COQUET

Université d'Orléans, ISTO/OSUC  
1A rue de la Férolierie, 45071 Orléans Cedex  
yves.coquet@univ-orleans.fr

### QUELQUES RÉFÉRENCES CLÉS...

- ALLAG-DHUISME, F., BARTHOD, C., BIELSA, S., BROUARD-MASSON, J., GRAFFIN, V., VANPEENE, S. (coord), CHAMOUTON, S., DESSARPS, P.-M., LANSIART, M., ORSINI, A., 2010, *Prise en compte des orientations nationales pour la préservation et la remise en bon état des continuités écologiques par les grandes infrastructures linéaires de l'État et de ses établissements publics – troisième document en appui à la mise en œuvre de la Trame verte et bleue en France*, Proposition issue du comité opérationnel Trame verte et bleue, MEEDDM ed.
- MAYRAND, F., 2012, *Modélisation du fonctionnement hydrologique du sol et de la biodiversité des communautés végétales. Application à l'analyse de la performance écologique d'un aménagement paysager autoroutier*, Thèse de doctorat, Sciences de l'Environnement, AgroParisTech, ABIES, 254 p.
- Ministère de l'Écologie, du Développement durable, des Transports et du Logement, 2012, *Rétablissement de continuités écologiques sur des infrastructures de transport existantes*, Appel à projets, 7. Fonds d'investissement pour la biodiversité et la restauration écologique (FIBRE).
- NATUREPARIF, 2012, *Bâtir en favorisant la biodiversité. Un guide collectif à l'usage des professionnels publics et privés de la filière du bâtiment*, Victoires Éditions, 208 p.

### Remerciements

Ce travail a été réalisé dans le cadre d'une thèse de doctorat AgroParisTech financée par la chaire d'entreprise VINCI ([www.chaire-eco-conception.org](http://www.chaire-eco-conception.org)).  
Les auteurs remercient le groupe VINCI, les équipes de COFIROUTE A19 et de LUCIOLE PAYSAGISTES pour le support expérimental, Philippe JAUZEIN, professeur de botanique (AGROPARISTECH), pour son aide technique.